

# La termografia infrarossa

Utilizzo di strumenti diagnostici per l'ottimizzazione e l'analisi dei costi e benefici.

- Ernesto Cagliero – Factory Mutual Global, Torino  
Gino Richiardi – SKF Industrie SpA, Villar Perosa  
Silvano Garella – Consulente Industriale, Saluzzo

## Sommario

<b>Importanza della storia delle perdite subite</b> _____	<b>3</b>
L'esigenza di una manutenzione adeguata alla prevenzione degli incidenti. Alcuni casi di perdite. Due casi di ispezione predittiva significativi. _____	
<b>Azione di prevenzione delle perdite</b> _____	<b>9</b>
L'importanza della termografia infrarossa in un programma di manutenzione predittiva. _____	
<b>I risparmi ottenuti con la termografia infrarossa</b> _____	<b>14</b>
La necessità di documentare i risparmi ottenuti con la termografia infrarossa. Analisi costi/benefici. _____	
<b>Bibliografia</b> _____	<b>20</b>

## Riassunto

Il presente lavoro mostra, attraverso alcuni esempi significativi, i risultati raggiunti con l'implementazione della termografia infrarossa nel miglioramento del programma di manutenzione (Infrared Thermography Predictive Maintenance - ITPM) giustificando appieno i costi di adozione di tale tecnica diagnostica in termini di ritorno dell'investimento.

Nell'intervento vengono valutate le conseguenze economiche di casi di incidenti con incendio, esplosione o solo guasto che si sarebbero potuti certamente evitare attraverso un'adeguata manutenzione predittiva supportata dal "monitoring" all'infrarosso termico.

L'analisi delle perdite con i conseguenti costi di riparazione/sostituzione e degli eventuali costi sopportati dall'azienda per mancata produzione (costi diretti ed indiretti con le loro diverse incidenze sul danno complessivo a seconda del tipo di evento che si è verificato) ha la funzione sia di determinare un valido riferimento per la stima di altre eventuali perdite ma soprattutto di quantificare il rischio tecnologico, giustificando così l'attuazione di un valido programma manutentivo nonché la necessità di ricorrere ad una copertura assicurativa che sia fondata su una valutazione delle reali condizioni di rischio.

D'altra parte, dal punto di vista preventivo, vengono indicati ai professionisti di manutenzione le efficaci procedure operative e quegli strumenti di valutazione del probabile rischio correlato all'impianto/sistema, alla macchina/componente, strumenti ormai ritenuti indispensabili per convincere il "management" della valenza economica dei loro programmi finalizzati alla riduzione od all'eliminazione completa dei rischi e delle loro conseguenze.

## Importanza della storia delle perdite subite

L'esigenza di una manutenzione adeguata alla prevenzione degli incidenti.

Alcuni casi di perdite. Due casi di ispezione predittiva significativi.

Quando si verifica che un solo guasto fa sì che un impianto si fermi con conseguenti costi di disservizio ci si può permettere delle perdite per indisponibilità dell'impianto correlate col guasto, perdite che possono essere evitate grazie alla riorganizzazione della funzione manutentiva?

Migliorare l'affidabilità riducendo i costi (indice globale di manutenzione) ed aumentare la redditività aziendale [1] [2] è uno degli obiettivi principali di un avveduto sistema di gestione per la manutenzione.

A tal fine la termografia infrarossa, permettendo di individuare quegli eventuali sintomi premonitori (segnali deboli) presenti sulle apparecchiature, rappresenta la principale tecnica diagnostica d'ispezione predittiva indispensabile come supporto ad una manutenzione ottimale in grado di migliorare il rapporto costi/benefici [3].

La polizza assicurativa in relazione ai guasti degli impianti e delle macchine è certamente un elemento essenziale nel sistema tecnico-economico aziendale ma non può sostituirsi ad una efficace manutenzione.

Inoltre, mentre l'assicurazione può coprire completamente tutti i rischi dell'azienda ed anche essere determinante per la sopravvivenza stessa di un'azienda nel caso di un evento di perdita particolarmente grave, non esiste nessuna copertura assicurativa che indennizzerà un assicurato che manifesta mancanza di buona volontà nel ridurre i rischi esistenti ovvero a prevenire le possibili perdite attuando un'adeguata politica di intervento di manutenzione predittiva [4, 5].

Dal punto di vista esemplificativo si dovrebbe sapere che in dipendenza del tipo di assicurazione e di copertura dei rischi non sempre i danni per mancanza di produzione sono compresi nelle condizioni previste in polizza; è sì importante mantenere tale esposizione in mente allorché si esaminano le diverse polizze assicurative per il guasto d'impianto, ma, d'altra parte, risulta ancora più importante attuare una politica manutentiva di prevenzione finalizzata alla riduzione dei costi dovute alle perdite nonché avviare un programma di ispezioni all'infrarosso, eventualmente integrato da altre tecniche diagnostiche non distruttive di portata non globale come la termografia ma bensì locale ("high resolution methods" quali ultrasuoni, x-ray, eddy currents, analisi vibrazionale, analisi dell'olio, etc.).

Ipotizzare un caso che si possa verificare in realtà non è così facile; analizzare invece gli eventi dannosi che sono effettivamente accaduti, non necessariamente presso la propria unità operativa, è l'approccio migliore per affrontare tale problematica.

In tal modo disporre dei dati storici derivati dalle perdite sugli impianti e sulle macchine, oltre che costituire un collegamento tra modelli teorici ed empirici, permette di migliorare il sistema di controllo tecnico-economico.

L'esperienza delle perdite è ampia e tale esperienza dimostra che, troppo spesso, i guasti, gli incendi, le esplosioni, ecc., trovano origine in un'inadeguata manutenzione (Cfr. tavola num. 1 -Typical Boiler and Machinery (B&M) and Fire and Extended Coverage (F&EC) Exposures).

In particolare le più frequenti cause riportate sono:

- ◆ Prove/ispezioni non eseguite
- ◆ Manutenzione non effettuata

- ◆ Manutenzione inadeguata
- ◆ Guasti per documentare interventi di manutenzione
- ◆ Guasti d'origine elettrica
- ◆ Realizzazione od installazione impropria
- ◆ Guasti in conseguenza di modifiche di funzione o di utilizzo

Le origini principali dei guasti d'origine elettrica (installazione, realizzazione, assemblaggio, progettazione di sicurezza, esecuzione della manutenzione, ecc.) almeno per il 70% sono riconducibili al modo di effettuare la manutenzione.

Non è chiaro se i guasti si sono manifestati in conseguenza ad errori di trascrizione, dalla documentazione relativa ai problemi iniziali, dallo sviluppo degli ordini di lavoro, dalla pianificazione, dalle riparazioni, ecc., ma risulta evidente che è indispensabile una procedura di lavoro standard onde provvedere e risolvere i problemi documentati che sono stati identificati.

Oltre il 90% delle cause secondarie di danno (supervisione, procedure) si riconducono alle procedure instaurate o all'assenza di procedure.

## Alcuni casi reali<sup>1</sup>

### Caso 1

- ◆ Stabilimento di produzione dadi e rondelle
- ◆ Reparto trattamenti termici
- ◆ Reparto di galvanica con vasche e tubazioni in plastica
- ◆ Imballaggio finale



Figura 1 – Caso 1

Aspetti positivi:

- ◆ Era stata effettuata una termografia all'infrarosso
- ◆ Erano stati individuati tutti gli interventi prioritari

Aspetti negativi:

- ◆ Non erano stati effettuati gli interventi necessari!!
- ◆ Danno diretto = 6.4 MEuro
- ◆ Danno indiretto = 2 MEuro

---

<sup>1</sup> Sezione a cura di Ernesto Cagliero [N. d. r.]

### Caso 2

- ◆ Incendio quadro elettrico con conseguente fermata degli impianti di produzione
- ◆ Danno diretto = 450.000 Euro
- ◆ Danno indiretto = 250.000 Euro



Figura 2 – Caso 2

### Caso 3

- ◆ Cedimento di giunzione a muffola su cavo 20 kV in cunicolo
- ◆ Conseguente incendio e propagazione all'interno dell'adiacente quadro MT con interruttori in SF6



Figura 3 – Caso 3 - Trasformatori

	Numero sinistri	%	Danno (MC)	%
<b>Guasti elettrici</b>	934	93%	401	82%
<b>Incendi</b>	54	5%	84	17%
<b>Guasti meccanici</b>	6	2%	3	1%
<b>Interruzione di servizio</b>	4		2.5	
<b>Esplosioni</b>	2		1.5	
<b>TOTALE</b>	<b>1000</b>		<b>492</b>	

Figura 4 – Caso 3 - Sinistri trasformatori 1991-2000

#### Caso 4

- ◆ 110 MVA ONAF
- ◆ 132/11.5 kV
- ◆ Anno di costruzione 1996
- ◆ Guasto interno (senza incendio) causato da sovratensione a seguito di sequenza di manovra non corretta



Figura 5 – Caso 4

#### Caso 5

- ◆ Trasformatore 115/13.8 kV
- ◆ Anno di costruzione 1975
- ◆ 60 t di olio
- ◆ Cause incendio non note



Figura 6 – Caso 5



### Caso 6 (filmato)

- ◆ Trasformatore 138/13.8 kV
- ◆ Anno di costruzione 1980
- ◆ Guasto verso terra lato 13.8 kV senza intervento protezioni
- ◆ Intervento sfiato di sovrappressione



Figura 7 – Caso 6

[... continua]

La presenza di apparecchiature elettriche non perfettamente funzionanti può comportare non solo una significativa interruzione dell'attività produttiva ma costituire anche la causa d'innescò di un incendio di proporzioni rilevanti. La recente storia sinistri di FM Global relativa alle apparecchiature elettriche è riportata in Figura 8.

	<b>Numero sinistri</b>	<b>%</b>	<b>Danno (MC)</b>	<b>%</b>
Trasformatori	1000	28%	492	34%
Cavi e sbarre	893	25%	362	25%
Quadri ed interruttori	602	17%	254	17%
Alternatori	174	5%	166	11%
Motori	580	17%	145	10%
Altre app.elettriche	261	7%	48	3%
<b>TOTALE</b>	<b>3510</b>		<b>1467</b>	

Figura 8 – Storia sinistri apparecchiature elettriche 1991-2000

Il rischio che un'apparecchiatura elettrica possa innescare un incendio è tutt'altro che teorico. Nel periodo compreso tra il 1991-2000, FM Global ha infatti registrato 1497 incendi determinati con tutta probabilità da un innescò di origine elettrica. Questi rappresentano circa il 30% del numero totale dei sinistri incendio, con un danno medio pari a 650.000 Euro.

Per quanto riguarda il cosiddetto "Guasto Macchine", circa il 32% del numero totale dei sinistri sono causati da guasti elettrici con un danno medio di 250.000 Euro.

Vengono inoltre presentati due casi ritenuti particolarmente significativi nella filosofia esposta di politica di manutenzione rilevati nel corso di ispezioni termografico-infrarosse di cui il primo riscontrato all'esterno di una cabina di media tensione ed il secondo in un impianto di pompe di olio di laminazione.

### Cabina Media Tensione

Si tratta di una anomalia rilevata sulla intestazione di un cavo a monte del quadro elettrico da non trascurare per il momento il problema risulta essere contenuto ma col tempo, qualora non si intervenisse, si potrebbe verificare un evento dannoso analogo al caso 3 argomentato in precedenza.

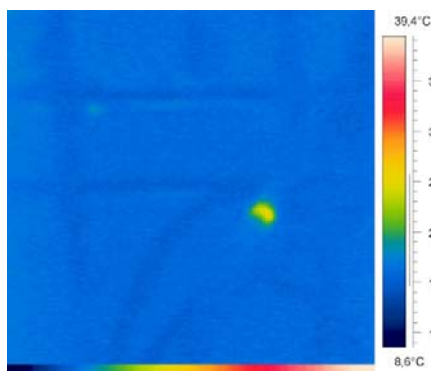


Figura 9 – Termografia



Figura 10 – Problema nell'intestazione del cavo.

### Pompe Olio di Laminazione

Problema di manutenzione di sistema oleidraulico su pompa del tipo a gruppo di pistoni assiali in linea con temperatura massima del fluido a 75 [° c.]: temperatura anomala rilevata sulla carcassa della pompa di circa 81 [°c.].

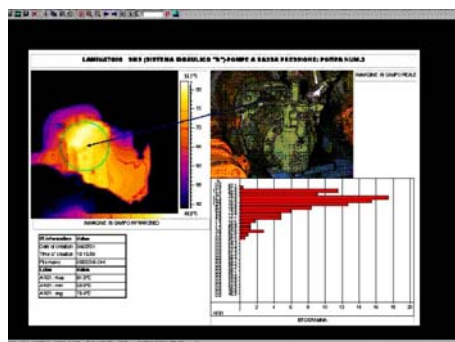


Figura 11 – Problema di manutenzione al sistema oleodinamico di una pompa.

L'analisi di dettaglio effettuata durante l'ispezione fa ricondurre il surriscaldamento o all'inefficienza del sistema refrigerante o a problemi tribologici. Elevato rischio di incendio.



## Azione di prevenzione delle perdite

### L'importanza della termografia infrarossa in un programma di manutenzione predittiva.

Gli impianti e le macchine con i loro componenti sono destinati prima o poi a guastarsi.

Il problema è che è difficile prevedere quando il guasto si manifesti e l'entità del danno conseguente; in altre parole: per valutare in termini sia qualitativi che quantitativi il rischio del manifestarsi di un evento dannoso è indispensabile prevedere nel programma di manutenzione un'adeguata prevenzione delle perdite intesa come attività di ispezione e di indagini predittive sugli impianti, macchine e loro componenti effettuate da personale qualificato e certificato.

Un esempio per comprendere meglio la portata del problema: un interruttore da 400[A.] può danneggiarsi al suo interno e non permettere semplicemente all'operatore di ripristinarlo sulla posizione di chiuso; all'interno dello stesso interruttore si può formare un arco che fa esplodere tale componente e la formazione stessa dell'arco può essere trasferita all'interno del centro di controllo dei motori in conseguenza del processo di ignizione del materiale di isolamento dei cavi collegati all'interruttore; tale centro potrebbe essere distrutto ed un incendio conseguente potrebbe danneggiare il locale ed il fabbricato circostante la cabina.

Appare evidente che una valutazione teorica del rischio in termini di analisi delle conseguenze tramite tecniche numeriche di tipo probabilistico per valutare la probabilità dell'evento dannoso ma, soprattutto, una valutazione della magnitudo dei danni appare non di facile soluzione!

Il problema che si pone coinvolge certamente la manutenzione ma anche altre funzioni dell'azienda quali l'ingegneria di manutenzione, il risk management, la direzione tecnica.

In generale, al fine di ridurre il rischio, è importante intervenire diminuendo la possibile magnitudo delle conseguenze (azione di protezione) e/o operando sulla probabilità di accadimento (azione di prevenzione).

Un'opportuna scelta della politica di manutenzione nell'analisi dei guasti manifestati e dei sintomi premonitori (cfr. fig. 4 [3]) permette non solamente di ridurre di fatto il rischio con interventi operativi tempestivi evitando il danno ma anche di acquisire nel contempo quelle informazioni indispensabili per valutazioni di tipo statistico nonché apportare delle misure correttive e/o migliorative alle apparecchiature.

Le indagini termografico-infrarosse, effettuate da personale certificato e con l'opportuna esperienza ed adeguatamente interpretate, permette di individuare quei segnali deboli, indicati da una temperatura anomala (Nota: non necessariamente sempre un surriscaldamento), indispensabili come azione di supporto ad un programma di manutenzione ottimale (infrared thermography predictive maintenance - ITPM) per la identificazione degli impianti, macchine, componenti con funzionamento anomalo stabilendone nella maggior parte dei casi anche le cause di tale comportamento [6,7,8].

In particolare l'analisi statistica dei dati derivati dalle indagini infrarosse viene utilizzata per:

- ◆ identificare gli elementi/componenti i quali presentano più problemi;
- ◆ permettere l'analisi delle cause dei guasti;
- ◆ prendere le decisioni quanto alla necessità di incrementare o meno la frequenza delle ispezioni;
- ◆ decidere l'eventuale sostituzione del fornitore di un componente.

- ◆ valutare l'indice di criticità del potenziale guasto e quindi permettere l'individuazione delle entità critiche

Le indagini delle serie storiche sono utili allo scopo di analizzare l'evoluzione del numero di eventi nel periodo e la tendenza risultante. La tendenza fornisce la misura dell'efficacia del programma di ispezione predittiva implementato: se non si determina un risultato con tendenza decrescente devono essere necessariamente identificate le cause.

D'altra parte la riduzione o l'eliminazione di un dato difetto incrementerà l'affidabilità del sistema nel suo insieme, fatto questo essenziale per un programma efficace di "total quality".

## **I risparmi ottenuti implementando la termografia infrarossa in un programma di manutenzione. Un caso concreto**

I guasti agli impianti comportano spesso delle conseguenze economiche le quali vanno al di là dei semplici costi di sostituzione o di riparazione dei diversi elementi coinvolti nella perdita.

In alcuni casi il costo dell'elemento non risulta essere il costo principale: il fermo impianto con la conseguente mancata produzione comporta un costo indiretto che può di gran lunga superare il costo diretto di sostituzione o di riparazione.

Con un esteso insieme di dati in relazione tra di essi i costi conseguenti alle perdite documentate in rapporto alla produzione ed agli interventi di ripristino degli impianti possono essere raccolti in modo sistematico e sulla base delle avarie manifestate si possono impostare delle analisi costi-benefici con conseguente riflesso sulla valutazione economica del costo globale di manutenzione nonché acquisire le adeguate informazioni tecniche per prevedere le possibili perdite o risparmi futuri.

Per le aziende che desiderano applicare l'analisi costi-benefici nell'ambito della manutenzione predittiva supportata dalle indagini termografico-infrarosse è indispensabile concepire, in relazione alle anomalie rilevate, delle procedure di analisi, di rielaborazione e di conservazione delle informazioni e dei dati relativi, registrare sistematicamente i costi conseguenti ai guasti nonché tenere sotto controllo le scorte di magazzino dei componenti.

Tale impostazione avrà come risultato complessivo una riduzione dei costi di manutenzione.

Con l'utilizzo di un sistema che confronta le varie voci di costo prima e dopo il guasto si ricava un rapporto medio costi/risparmi di circa 1:4.

In relazione alla prospettiva di remunerazione del capitale investito alcuni programmi di implementazione della termografia infrarossa nell'ambito della manutenzione predittiva negli Stati Uniti hanno dimostrato che, mediamente, per ogni dollaro speso per le ispezioni infrarosse, risolvendo i problemi prima che si verificasse il guasto, si è avuto un ritorno di investimento per materiale e manodopera di circa 4 \$ (fonte: HSB Thermography Services-U.S.A.).

Tale rapporto costi/risparmi è stato ricavato dall'elaborazione di dati raccolti sull'arco di un periodo di dieci anni utilizzando una database di gestione di manutenzione.

In seguito tale rapporto venne verificato dalla Hartford Steam Boiler sulla base dei propri dati e rielaborazioni; dai risultati di tale indagine è emerso che, nel caso vengano considerate anche le perdite di produzione, gli scarti conseguenti, extra costi ovvero i costi per permettere la prosecuzione dell'attività (ad es.: costi di locazione dello spazio uso ufficio in altra area mentre vengono eseguite le riparazioni), ecc. tale rapporto può raggiungere in media un valore prossimo ad 1:20.

## **Un esempio dei vantaggi ottenuti con un'impostazione di infrared thermography predictive maintenance<sup>2</sup>**

Un pò di storia, il ns. stabilimento metalmeccanico è il più vecchio dei sette Stabilimenti Italiani, è nato nel 1906 è stato rimaneggiato più volte tuttora è in fase di ristrutturazione.

L'impianto elettrico generale riguardante le alimentazioni delle cabine primarie risale al dopo guerra, ci sono in esercizio interruttori, sezionatori e trasformatori del 1945-46-47.

Nel Febbraio 1990 è avvenuto un incidente in una cella di una cabina di media tensione (3 Kv), con un inizio d'incendio propagatosi per fortuna senza danni gravi alla cella di bassa tensione (240 v).

Lo scoppio di un condensatore, dovuto al surriscaldamento dei morsetti lenti, ha provocato la fuoriuscita dell'olio dielettrico che si è sparsa sul pavimento e sulle pareti circostanti incendiandosi.

La segnalazione e il pronto intervento della squadra dei vigili interni nonché gli operatori elettricisti che hanno staccato e isolato la cella della cabina hanno così scongiurato danni maggiori al restante impianto.

Da quel momento in poi, si sono iniziate le indagini termografiche all'infrarosso con uno spot della EXAGEN mensilmente, si fanno tuttora, vengono controllate le cabine primarie, quelle secondarie, le dorsali principali di alimentazione in alta e bassa tensione e una volta all'anno viene fatta un'indagine termografica con lo studio dell'Ing. Garella su tutto l'impianto elettrico principale, con una spesa di circa 5 milioni (2002).

Questa indagine predittiva sugli impianti ci ha permesso di programmare la manutenzione in periodi più stretti e soprattutto di individuare in maniera rapida dove dover intervenire prontamente scongiurando fermate per guasti.

Prima di questi esami termografici si faceva una manutenzione per così dire a tappeto, controllando su tutti gli impianti delle cabine la chiusura dei morsetti, le lame dei sezionatori, le pinze degli stessi e dei fusibili, i giunti e i capocorda.

Spendendo in tempo circa un mese, la fermata delle ferie di agosto e tre o quattro fine settimana programmati durante l'anno; e in danaro qualcosa come circa 35 – 40 milioni, dati del 1995-96. Ora, dopo l'indagine termografica che dura due giorni, senza interruzione delle lavorazioni, siamo passati ad un controllo di due settimane largamente contenuto nella pausa estiva e con una spesa sempre e solo per la manodopera di 13 milioni (6300 euro, dato del 2002).

Quindi si nota che, se si sommano i 13 milioni del secondo caso con i 5 milioni che si spendono per l'indagine termografica si rimane ancora al di sotto della spesa che si sosteneva prima e soprattutto si può controllare se l'intervento correttivo è stato eseguito bene.

Perché si possono controllare, sovrapponendo gli interventi eseguiti anno per anno, se sono ripetitivi oppure no, cioè eseguiti sullo stesso impianto, nello stesso punto e sullo stesso componente determinando così l'obsolescenza di quel particolare e poter programmare la sostituzione; e aggiungerei che, siccome si tratta di un impianto datato non sempre si trova il ricambio uguale ma occorre fare degli aggiustamenti, per cui uno si può premunire costruendo dei particolari.

Concludendo, un altro beneficio che si è ottenuto e che analizzando le indagini fatte negli anni, si è potuto predisporre un serio programma di manutenzione preventiva da svolgere durante l'anno il quale ci ha permesso di eliminare quasi totalmente interventi lunghi quindi costosi e valutare reali condizioni di rischio.

---

<sup>2</sup> Questa parte è stata realizzata da Gino Richiardi.

## Individuazione e intervento di manutenzione preventiva su un COMPRESSORE.

Un esempio di come sia stata utile l'ispezione a raggi infrarossi sull'alimentazione di potenza di un motore per compressore con lo spot della EXAGEN e poi, siccome si è rilevata una anomalia, con la Termografia dell'Ing. Garella, è quella di aver individuato un teleruttore di avviamento che presentava un falso contatto su una fase del circuito principale.

Questo contatto lento ha provocato un surriscaldamento di tutta la parte di connessione, che stava per propagarsi ai circuiti adiacenti, le canaline porta cavi e il rivestimento plastico dei medesimi si erano quasi liquefatti.

Si è potuto così programmare la fermata del compressore e quindi procedere alla sostituzione del teleruttore, senza recare ulteriori danni all'impianto, soprattutto con il rischio di bruciare il motore e quindi di avere una fermata per manutenzione più lunga ed onerosa.

La riparazione e la riavvolgitura del motore avrebbe richiesto una spesa di circa £.4.600.000 e 3 o 4 giorni di fermata, con l'impiego di un manutentore esperto di V livello, un manutentore di IV livello e un addetto gruista/carellista con relativo mezzo per la movimentazione di particolari pesanti.

La sostituzione del teleruttore è avvenuta in 2 ore, con un costo in manodopera di £.140.000, il teleruttore costo £.950.000, con un manutentore esperto V livello.

SKF Industrie S.p.A.		Stabilimento di Villar Perosa							
		COSTI COMPLESSIVI FORNITURA/MANODOPERA DI INTERVENTO MANUTENZIONE ELETTRICA (milioni di Lire)							
CENTRO DI COSTO	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	
Cabina 70/15 kv	3,60	2,80	2,70	2,10	2,16	2,20	1,86	1,98	
Cabina 15/0,4 kv	3,20	2,80	2,90	2,70	2,75	2,40	1,86	1,98	
Cabina 30/3 kv	3,20	2,40	2,60	2,50	2,50	2,40	1,40	1,50	
Cabine 3/0,4 kv	1,20	0,04	0,04	1,30	1,10	1,10	0,60	0,60	
Cabine 3/0,240 kv	6,00	4,80	4,90	4,90	3,80	3,00	2,32	2,48	
Chiusura blindo	2,00	1,60	1,70	1,70	1,30	1,30	0,93	0,99	
Cassette derivazione forni	3,20	2,40	2,50	2,50	2,16	1,80	1,39	1,48	
Totale:	6,80	5,60	5,60	4,80	4,91	4,60	3,72	3,96	

Si è considerato di lavorare con 2 persone qualificate (manutentore esperto) e 1 operaio generico.  
Il periodo di intervento operativo è sempre nella pausa delle FERIE.

Figura 12 – Costi complessivi fornitura/manodopera di intervento Manutenzione Elettrica.

Come si evince dalla relazione l'intervento di indagine termografica è stato ampiamente ripagato con un intervento mirato a spese contenute sia come costo sia come tempistica.

## Manutenzione straordinaria su Convertitori statici ad alta frequenza.

L'impianto di un forno ad induzione per il riscaldamento di barre d'acciaio è composto da 3 (tre) convertitori AEG – Elotherm ad alta frequenza 1300 Hz. formati da 16 SCR (diodi controllati) nella parte raddrizzatore e 24 SCR nell'inverter ciascuno, raffreddati ad acqua a circuito chiuso.

La bruciatura di un considerevole numero di diodi controllati SCR sui convertitori ci ha indotto ad eseguire un'indagine esplorativa con lo spot EXAGEN e un'ispezione termografica con l'ing. Garella, le quali hanno confermato i nostri dubbi sulla non funzionalità del circuito di raffreddamento.

Quando l'impianto era in fase di avviamento o lavorava ad intermittenza, 7- 8 ore di lavoro con intervalli di 3- 4 ore di fermata tutto andava bene, come si riprendeva a lavorare 24 ore su 24 ecco che gli SCR bruciavano ma non per la corrente o la tensione bensì per il mancato raffreddamento, (l'acqua non era sufficiente a smaltire il calore alla base degli SCR).

In fatti la superficie dello zoccolo di questi SCR è mantenuta fredda mediante la circolazione di acqua forzata (3 bar) ma la cattiva gestione e la mancata aggiunta di particolari additivi anticalcare nell'acqua a fatto sì che i passaggi dei tubi si siano parzialmente ostruiti, si sono riscontrate delle temperature di 80°-90° sugli SCR, i quali vanno mantenuti ad una temperatura di circa 55°-60° max. per un uso ottimale.

L'intervento è stato programmato prontamente nella prima fermata per cambio tipo (circa 3-4 ore), con un lavaggio forzato contro corrente, con una soluzione acida per smuovere il calcare. Questo ci ha permesso di proseguire con la lavorazione fino ad una pausa più lunga, in modo da programmare lo smontaggio degli SCR e quindi rimuovere le ostruzioni che impedivano il regolare flusso dell'acqua.

Si sono inserite poi, delle sonde di rilevamento di temperatura (PTC) sugli zoccoli degli SCR e sulle bandelle di collegamento, collegate ad un opportuno circuito di controllo di avviso.

Questa esperienza ci ha fatto capire quanto sia importante eseguire le ispezioni predittive sugli impianti di potenza per limitare le fermate e i guasti dovuti al riscaldamento anomalo dei componenti.

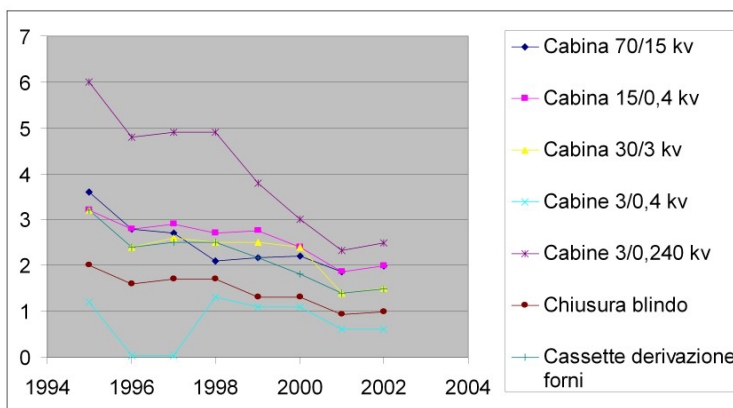


Figura 13 – Problema di manutenzione al sistema oleodinamico di una pompa.

I dati contabili sotto forma tabulare ed in modo più evidente riportati sul diagramma permettono di rilevare il "trend" nelle diverse zone dell'impianto della riduzione dei costi di manutenzione da quando si è adottata la tecnica termografico-infrarossa a supporto della manutenzione predittiva.

## **I risparmi ottenuti con la termografia infrarossa**

La necessità di documentare i risparmi ottenuti con la termografia infrarossa.  
Analisi costi/benefici.

Poiché i problemi devono essere affrontati prima che si manifesti una fermata o un incendio il "management" potrebbe dimenticare quelli che sono i benefici addotti all'economia aziendale dalla termografia infrarossa.

La direzione potrebbe avere come obiettivo il taglio dei costi nel programma di manutenzione predittiva, alcuni dirigenti potrebbero tenere conto solamente dei costi del programma e non dei risparmi ottenuti quando un programma di manutenzione viene gestito in modo appropriato, ma non viene prodotta alcuna documentazione che attesti i risparmi ottenuti.

E' opportuno documentare il risultato ottenuto della gestione dei risparmi dei costi derivato dal programma di manutenzione da portare all'attenzione dei responsabili dei bilanci preventivi.

L'analisi dei dati di rilievo ed il reporting devono essere rielaborati e catalogati in modo appropriato così che le stesse informazioni derivate dalla termografia infrarossa e da altre eventuali indagini diagnostiche più puntuali e specifiche, unitamente a commenti e raccomandazioni, possano essere utilizzate per redigere il Predictive Maintenance Report: strumento di grande impatto ed indispensabile per il programma a breve ma anche a lungo termine del programma di manutenzione.

Per tale motivo detto rapporto deve essere il risultato di un lavoro coordinato, deve contenere dati informativi affidabili, valutazioni e raccomandazioni non contraddittorie ed essere redatto in modo esauriente.

Per i componenti/elementi critici deve essere redatto un rapporto specifico (Exception Report) contenente:

- ◆ Informazioni di tipo generale con:
  - caratteristiche descrittive del particolare;
  - informazioni sul problema manifestato;
  - immagini diagnostiche;
  - commento dell'analisi;
  - raccomandazioni finali.
  - eventuale ordine di lavoro.
- ◆ -Stato di intervento operativo.
- ◆ -Rapporto costo beneficio (cfr. punto seguente)

Sempre per i componenti/elementi critici deve essere anche previsto un quadro riassuntivo (Status Summary).

La necessità di un'"analisi costi-benefici (CBA)" si rende indispensabile in un programma di manutenzione di questo tipo proprio per il fatto che i responsabili del programma devono continuamente convincere il "management" del valore dei loro operati in termini di riduzione dei rischi o della totale loro eliminazione.



Pur ammettendo l'esistenza di problemi legati alla validità di certe assunzioni contenute entro un processo di CBA (stima della probabilità dell'accadimento dell'incidente) tale strumento risulta essere indispensabile per la valutazione dei risparmi netti ottenuti effettuando le indagini termografico-infrarosse.

Il documento che viene elaborato per ogni singolo componente/elemento anomalo per tale valutazione è il CBA Incident Report; esso prevede:

- ◆ la descrizione del componente/elemento esaminato nel corso dell'ispezione e ritenuto in condizioni critiche;
- ◆ la data del rilievo;
- ◆ la zona dell'impianto;
- ◆ la descrizione dell'anomalia;
- ◆ l'estratto della certificazione termo-infrarossa;
- ◆ la valutazione in termini economici dei danni indiretti per perdite di produzione, la valutazione dei costi per i danni diretti, la stima della probabilità di incidente nelle varie ipotesi ovvero sia evento catastrofico, moderato e minimo (eventualmente senza danni indiretti);
- ◆ la valutazione dell'intervento di messa in pristino;
- ◆ il calcolo della speranza matematica nell'ipotesi di incidente;
- ◆ il calcolo del risparmio netto dato dalla differenza tra la speranza matematica nell'ipotesi di incidente ed il costo dell'intervento reale.

Ovviamente le procedura e la modulistica da adottare dipende da ogni singola realtà aziendale e perciò devono essere progettati "ad hoc".

Quando il management incomincia a rendersi conto dei reali benefici che nascono da indagini predittive quali la termografia infrarossa tale constatazione in definitiva rinforza il processo di "manutenzione ottimale" e da l'opportunità all'azienda di godere dei benefici continui derivati dalla applicazione sistematica di tale tecnologia diagnostica.

### **CBA Incident Report, Forno Fusorio**

Viene esposto un caso di analisi di guasto reale con le varie ipotesi possibili di danno e con il danno realmente accaduto.

- ◆ Numero incidente/guasto: 37
- ◆ Data incidente/guasto: 28/10/2002- impianto fusorio ad induzione da 5.500 [kw.]
- ◆ Zona: forno n.4-quadro segregato di m.t. da 630[a.] in sf6
- ◆ Descrizione incidente/guasto: durante il normale funzionamento del forno è completamente esploso il polo destro (Figura 14, Figura 15) dell'interruttore (CEI 17-1) danneggiando anche il polo centrale (Figura 16).



Figura 14 – Polo destro del forno.



Figura 15 – Polo destro del forno (particolare).

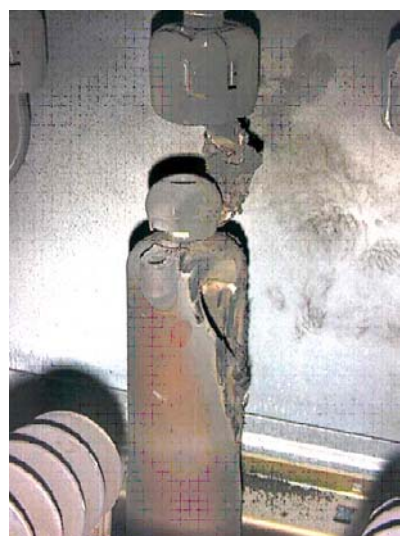


Figura 16 – Polo centrale del forno.



Figura 17 – Vista frontale del quadro a seguito dell'incidente.

Tale danno, verificatosi all'interno di un quadro elettrico segregato contenente interruttori in SF<sub>6</sub> da 15[Kv.] a causa di un surriscaldamento manifestato in corrispondenza di un attacco di una fase di uno degli interruttori, poteva essere evitato grazie ad una indagine infrarossa nell'ambito di un programma di manutenzione predittiva della durata di pochi minuti disponendo una finestra applicata, seguendo delle opportune procedure, al quadro segregato la quale permettesse tale ispezione (vedi paragrafo successivo).

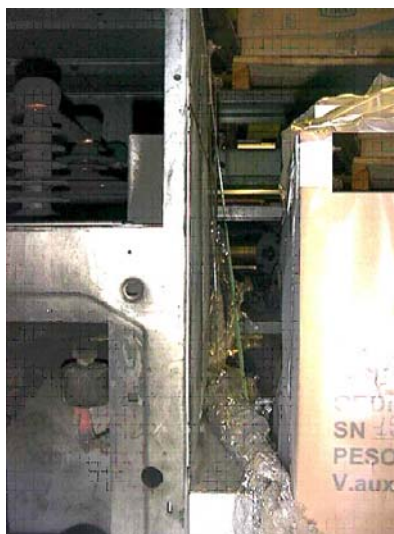


Figura 18 – Particolare pannello laterale dx del quadro a seguito dell'incidente.

Qualora si fosse applicata in questo caso una procedura predittiva con un'analisi costi-benefici si sarebbe ottenuto un risparmio netto medio a seguito dell'ispezione infrarossa di 18.053 €.

Non essendo stato però avviato un programma di manutenzione predittiva con implementazione dell'infrarosso su tale tipo di quadri il danno in termini di costi effettivi per pura fortuna è stato limitato a 13.875,00 € quando il costo di intervento previsto a seguito dell'indagine predittiva avrebbe contenuto i costi a 60,00 €.

## Ispezioni su quadri MT o BT segregati in condizioni di esercizio

Per consentire l'indagine di manutenzione predittiva termografico-infrarossa su quadri M.T. in esecuzione protetta o blindata o su quadri B.T. segregati in condizioni di esercizio si rende indispensabile la messa in opera o su quadri di nuova esecuzione o su quadri già esistenti di finestre realizzate con alloggiamento in alluminio ed in zaffiro, materiale il quale é permeabile alle onde infrarosse provenienti dai componenti contenuti all'interno dei quadri medesimi.



Figura 19 – Ispezione attraverso una finestra in Alluminio e Zaffiro.

In tal modo, senza rischi per l'operatore quando sia possibile l'apertura del quadro e senza la necessità di sezionare l'impianto quando tale apertura non sia possibile, si può procedere all'ispezione all'interno dell'involucro.

## Conclusioni

Manutenzione ottimale significa migliorare l'affidabilità degli impianti e delle macchine riducendo i costi globali di manutenzione e aumentando quindi la redditività aziendale.

Un adeguato programma di manutenzione predittiva supportata dalla termografia infrarossa (infrared thermography predictive maintenance-I.T.P.M.) rappresenta un sistema moderno di attività di diagnosi, monitoring e manutenzione indispensabile per raggiungere tali obiettivi.

Anche se non si può prevedere il comportamento futuro delle apparecchiature è pur vero che:

- ◆ mentre risulta essere indispensabile ridurre i rischi correlati con le perdite derivate da guasto od incendio di impianti produttivi l'assicurazione non sostituisce un programma di manutenzione ottimale supportato dalla termografia infrarossa come tecnica diagnostica in grado di migliorare il rapporto costi/benefici;
- ◆ d'altra parte la riduzione dei rischi di accadimenti quali guasti, incendi, scoppi, etc. comporta, con la riduzione dell'alea, un possibile beneficio nel contratto assicurativo;
- ◆ senza un efficace programma di gestione i guasti e le perdite imprevisti continueranno a verificarsi;
- ◆ circa la metà di un adeguato programma di manutenzione ITPM ha la funzione di determinare i problemi esistenti (sintomi premonitori anomali) mentre per la restante metà è finalizzato a stabilire le responsabilità e le procedure per affrontare i problemi che si sono rilevati;
- ◆ un efficace programma di manutenzione deve prevedere procedure, reports e records ben definiti;
- ◆ sebbene non si possano eliminare del tutto i guasti degli impianti e delle macchine, i programmi di manutenzione così strutturati, garantendo accettabili risorse, durata in servizio delle attrezzature e tempi di indisponibilità degli impianti contenuti, possono realisticamente divenire "centri di profitto" per l'azienda.

## Bibliografia

- [1] Norma U.N.I. 10224- *Principi fondamentali della funzione manutenzione.*
- [2] L. Fedele, M. Tronci, " *Progettazione e sviluppo di un sistema di gestione della manutenzione*", Rivista Manutenzione Tecnica & Management, Giugno 2001.
- [3] Norma U.N.I. 10366- *Criteri di progettazione della manutenzione*
- [4] FM Global-Property Loss Prevention Data Sheets 9-0/17-0, " *Maintenance and Inspection*"
- [5] FM Global-Property Loss Prevention Data Sheets 9-0/17-0, " *Electrical Testing*"
- [6] S. Garella- " *La termografia infrarossa nella strategia di manutenzione preventiva-predittiva*", Rivista Manutenzione Tecnica & Management, Novembre 1998.
- [7] S. Garella- " *Il ruolo della termografia infrarossa nella manutenzione elettrica*", Rivista Manutenzione Tecnica & Management, Maggio 1999
- [8] S. Garella- " *La termografia infrarossa nell' ingegneria di manutenzione*", Rivista Manutenzione Tecnica & Management, Novembre 2002.